

CENTRE ORSTOM DE NOUMEA.

U.R. E-9.

RECHERCHES SUR LA DYNAMIQUE DE L'AZOTE
DANS LES SOLS CULTIVABLES DE NOUVELLE-CALEDONIE.

-oOo-

ÉTUDE COMPARATIVE DE L'UTILISATION DE L'AZOTE DE TROIS FUMURES AZOTÉES
DIFFÉRENTES PAR *PANICUM MAXIMUM* (JACQ.), VARIÉTÉ "GREEN PANIC", CULTIVÉ
SUR VERTISOL NON-MAGNÉSIEU DE RÉFÉRENCE DE POUEMBOUT.

-oOo-

Protocole de l'étude expérimentale en serre.

C. THOMANN, B. BONZON, Ph. ANDRE.

Nouméa, février 1986.

RECHERCHES SUR LA DYNAMIQUE DE L'AZOTE
DANS LES SOLS CULTIVABLES DE NOUVELLE-CALÉDONIE.

-o0o-

Etude comparative de l'utilisation de l'azote de trois fumures azotées différentes par *Panicum maximum* (Jacq.), variété "Green Panic", cultivé sur le vertisol non-magnésien de référence de Pouembout.

-o0o-

Protocole de l'étude expérimentale en serre
C. THOMANN, B. BONZON, P. ANDRE.

-o0o-

1 - OBJECTIFS DE L'ETUDE.

2 - CONSIDERATIONS PRELIMINAIRES.

2.1. Principe de l'utilisation d'engrais azotés marqués à l'azote 15.

2.2. Réflexions sur les réserves d'un sol en éléments nutritifs et sur les moyens de les estimer à l'aide de cultures en pots sous serre.

2.2.1. Notions de réserves facilement accessible (RFA) et maximale accessible (RMA).

2.2.2. Notion de réserve maximale utilisable (RMU).

2.2.3. Notion de taux d'utilisation maximale apparente et réelle de E.

2.2.4. Problèmes de l'estimation des RFA, RMA et RMU.

2.2.5. Hypothèses sur une fonction $q(p)$ susceptible de permettre l'estimation des RFA, RMA et RMU.

2.2.6. Méthode de détermination des constantes k , p_M et q_M . Conséquences expérimentales.

3 - DISPOSITIF EXPERIMENTAL.

3.1. Facteurs contrôlés et type de l'essai.

3.2. Observations : données de base et dérivées ; données estimées.

3.3. Interprétations statistiques.

4 - CONDUITE DE L'ETUDE.

4.1. Mise en place de l'essai.

4.2. Irrigation et fertilisation.

./.

4.3. Suivi de la végétation et entretien de l'essai.

4.4. Fauches intermédiaires.

4.5. Fauche finale et démontage de l'essai.

ANNEXES.

1 - Ajustement de n couples de valeurs observées (p_i , q_i) sur la fonction

$$q = q_M \cdot \{1 - [(p_M - p)/p_M]^k\}$$

2 - Analyse statistique des résultats.

3 - Analyse des données.

4 - Paramètres devant être observés.

RECHERCHES SUR LA DYNAMIQUE DE L'AZOTE
DANS LES SOLS CULTIVABLES DE NOUVELLE-CALEDONIE.

-o0o-

Etude comparative de l'utilisation de l'azote de trois fumures azotées différentes par *Panicum maximum* (Jacq), variété "Green Panic", cultivé sur le vertisol non-magnésien de référence de Pouembout.

-o0o-

Protocole de l'étude expérimentale en serre.

-o0o-

1 - OBJECTIFS DE L'ETUDE.

S'appuyant sur les résultats des premières expériences conduites en serre à l'aide de cultures en pots et sur les techniques de dosage de l'azote 15, la présente étude a comme objectif principal la détermination du taux d'utilisation de l'azote en fonction de la nature de la fumure azotée appliquée, dans le cas de *Panicum maximum*, variété "Green Panic", cultivé sur le vertisol non-magnésien de référence de Pouembout.

Secondairement, l'étude a aussi comme objectif :

1°/ de vérifier s'il est possible, en utilisant des pots de volumes différents, de préciser les niveaux des réserves du sol en azote facilement accessible, maximale accessible et maximale utilisable, notions qui sont définies plus loin ;

2°/ de voir si l'on peut relier ces déterminations théoriques à des déterminations analytiques effectuées directement sur le sol avant et après l'expérimentation en serre.

2 - CONSIDERATIONS PRELIMINAIRES.

2.1. Principe de l'utilisation d'engrais azotés marqués à l'azote 15.

La plante ayant à sa disposition une double source d'approvisionnement en azote, celle du sol et celle apportée par les engrais, il est intéressant de connaître de façon précise la part revenant à l'une et à l'autre, car l'on sait que même dans les meilleures conditions, les engrais azotés ne sont pas utilisés à 100%. Cette distinction peut être réalisée grâce à l'emploi d'engrais azotés marqués artificiellement à l'azote 15, l'isotope de masse 15 étant un isotope stable de l'azote, tout comme l'isotope 14, ce dernier étant prédominant naturellement. Les

mesures effectuées par spectroscopie optique, donnent la proportion de ^{15}N par rapport à ^{14}N ; ces déterminations sont basées sur le principe que ^{15}N et ^{14}N ont les mêmes propriétés chimiques, et donc réagissent de la même manière, en milieu liquide en particulier.

Il n'est pas nécessaire que les engrais soient fortement marqués avec ^{15}N eu égard à leur coût élevé, mais il est toutefois recommandé de ne pas trop "diluer" ^{15}N par rapport à ^{14}N , de façon que cette proportion reste encore dans les limites de sensibilité de la mesure, une fois l'engrais apporté au sol, donc en contact avec d'autres ions ^{14}N .

L'apport d'engrais marqués permet d'effectuer des bilans de l'azote, entre la part qui provient de l'engrais et celle en provenance du sol, bilans qui sont représentatifs du cycle de l'azote dans le système sol-plante :

- azote prélevé par la plante au cours de sa croissance, ce qui permet d'établir le coefficient d'utilisation de l'engrais par la plante, pour une période déterminée dans le cas de plantes fourragères ;
- azote de l'engrais non utilisé par la plante (parties aériennes et racines), et qui se retrouve dans le sol pour y subir une réorganisation,
- azote restant en solution, non utilisé par la plante, et non retenu par le sol, et susceptible de rejoindre une nappe,
- enfin, si ces 3 formes n'aboutissent pas à un total de 100%, c'est qu'une partie de N apporté se sera volatilisé (par dénitrification etc...).

On devine l'intérêt de tels bilans, pour une culture donnée, sur un sol donné, avec une fumure donnée.

Dans cette étude, 3 engrais azotés marqués à l'azote 15 seront comparés afin de mieux préciser leur efficacité :

- le nitrate de calcium,
- le sulfate d'ammonium,
- l'urée.

Dans nos conditions expérimentales, le recyclage constant des percolats doit favoriser l'absorption de l'azote - mais aussi des autres éléments - par la plante, et/ou sa fixation par le sol.

2.2. Réflexions sur les réserves d'un sol en éléments nutritifs et sur les moyens de les estimer à l'aide de cultures en pots sous serre.

Les immobilisations minérales d'une plante sont fonction principalement,

- de son génotype,
- de son âge, ou, plutôt, du stade de développement qu'elle a atteint,
- des conditions de milieu qu'elle a rencontrées depuis sa mise en terre, notamment des conditions édaphiques et, parmi celles-ci des teneurs en les fractions assimilables des réserves minérales du sol à sa disposition.

2.2.1. Notions de réserves facilement accessible (RFA) et maximale accessible (RMA).

Soit E l'un de ces éléments immobilisés par une plante donnée.

Son absorption par la plante est fonction, non seulement de sa teneur initiale dans le sol, mais aussi des teneurs initiales dans le sol de tous les autres éléments nécessaires à la plante.

Pour cette raison, on peut définir déjà deux notions de réserve potentielle du sol en l'élément en question, correspondant aux masses maximales absorbables (par unité de masse de sol) ,

- 1 - en l'absence de tout apport d'élément, quel qu'il soit,
- 2 - en la présence de tous les autres éléments complémentés de telle sorte qu'ils ne soient limitants, ni par défaut, ni par excès.

On désignera ces niveaux par les expressions de "réserve facilement accessible" (RFA) et de "réserve maximale accessible" (RMA).

2.2.2. Notion de réserve maximale utilisable (RMU)

Si l'on apporte maintenant une masse m de E par unité de masse de sol, on peut définir un troisième type de réserve potentielle du sol - une réserve maximale utilisable - correspondant à la masse maximale de E absorbable en présence de tous les autres éléments complémentés de telle sorte qu'ils ne soient - comme précédemment -

limitants ni par défaut, ni par excès.

Le niveau de cette RMU dépendra naturellement de la masse m de E apportée par unité de masse de sol.

2.2.3. Notion de taux d'utilisation maximale apparente et réelle de E .

On peut alors définir un taux d'utilisation maximale apparente de E par le rapport :

$$(RMU - RMA)/m$$

S'agissant de l'azote, puisqu'il est possible, en utilisant des produits marqués à l'azote 15, de déterminer la part k d'azote de la RMU provenant de la fumure, un taux d'utilisation réelle maximale de la fumure peut être défini par le rapport :

$$k \cdot RMU/m$$

2.2.4. Problèmes de l'estimation des RFA, RMA et RMU.

La première question que l'on doit se poser au sujet de ces réserves concerne la méthode à mettre en oeuvre pour les estimer.

Les mesurer directement semble, en effet, très difficile sinon impossible du fait que l'absorption d'un élément devient de plus en plus difficile au fur et à mesure que sa teneur dans le sol diminue, le volume - donc la masse - de ce dernier prospecté par les racines étant limité. Tel est le cas de la méthode d'estimation "par épuisement".

Soit alors $q(p)$ la fonction reliant au temps s l'immobilisation en E d'une plante donnée à la masse p de sol mise à sa disposition.

Sa dérivée en fonction de p

$$t(p) = dq(p)/dp$$

définit la fonction "teneur du sol en E assimilable à s en fonction de p ". On a en effet :

$$q(p) = \int_0^p t(p) \cdot dp$$

L'idée de base sur laquelle il semblerait logique de s'appuyer pour définir les RFA, RMA et RMU en E du sol étudié (et pour la plante considérée) est que l'on devrait se rapprocher d'autant plus des teneurs correspondantes t_{FA} , t_{MA} et t_{MU} que le volume de sol mis à la disposition de la plante serait plus faible et que, finalement, $t(p) \rightarrow t_{FA}$ (ou t_{MA} , t_{MU} selon les conditions expérimentales) lorsque $p \rightarrow 0$.

Ayant défini la fonction théorique $q(p)$, il deviendrait ainsi possible, en l'ajustant à une série de n couples observés (p_i, q_i) de définir les teneurs en éléments facilement accessibles, maximales accessibles ou maximales utilisables comme les limites de la dérivée $t(p)$ lorsque p tend vers zéro.

2.2.5. Hypothèses sur une fonction $q(p)$ susceptible de permettre l'estimation des RFA, RMA et RMU.

Soient donc, pour un sol, une plante et des conditions expérimentales données :

- . E, l'un des éléments étudiés ;
- . p_M , la masse de sol maximale qu'explorerait la plante au temps s , sans autres contraintes que celles des conditions de l'étude ;
- . q_M , la quantité maximale de E qui serait prélevée dans p_M ;
- . p , la masse de terre mise effectivement à la disposition de la plante au temps s ;
- . q , la quantité de E prélevée par la plante dans p .

Si l'on fait alors l'hypothèse que la variation dq de q est une fonction directe de l'écart entre q_M et q ainsi que de la variation dp de p , et une fonction inverse de l'écart entre p_M et p ,

$$dq = k \cdot \left\{ \frac{(q_M - q)}{(p_M - p)} \right\} \cdot dp \quad (1)$$

k étant une constante, on en déduit aisément que

$$\frac{(q_M - q)}{q_M} = \left\{ \frac{(p_M - p)}{p_M} \right\}^k \quad (2)$$

si q tend vers zéro lorsque p tend vers zéro

Par suite, les estimations de t_{FA} , t_{MA} et t_{MU} seraient données par :

$$q'_0 = k \cdot q_M / p_M \quad (3)$$

les valeurs des constantes k , q_M et p_M dépendant naturellement des conditions expérimentales correspondantes.

2.2.6. Méthode de détermination des constantes k , q_M et p_M . Conséquences expérimentales.

Soit donc une expérimentation comportant n séries de pots de contenances différentes, $p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_n$.

Pour un traitement donné, correspondant à la détermination de l'une des trois séries de teneurs (t_{EFA} par exemple), on disposera donc de n couples (p_i, q_i) .

Le problème à résoudre est celui de la détermination des constantes k , p_M et q_M donnant le meilleur ajustement de la fonction $q(p)$ (cf la formule 2 ci-dessus) aux données observées.

La méthode décrite à l'annexe 1 s'étant avérée efficace - la précision de l'ajustement pouvant être imposée à l'avance et n'ayant comme limites que celles des microordinateurs - a été adoptée.

Les seules conditions de son application - qui doivent d'ailleurs être nécessaires à toutes les autres méthodes - sont que les valeurs les plus élevées des variables p et q doivent toujours être inférieures aux valeurs de p_M et q_M inconnues : une visualisation graphique de l'allure générale de la courbe $q(p)$ suffit à s'en assurer.

Mais ceci a pour conséquence que les conditions expérimentales ne doivent pas conduire à des paliers, soit du fait d'une récolte trop hâtive, soit du fait d'un apport d'éléments nutritifs beaucoup trop important en regard des besoins de la plante et de la compétition sol-plante.

Par ailleurs, le nombre n de couples observés (p_i, q_i) doit être au moins égal à 4.

2.2.7. Autres hypothèses sur la fonction $g(p)$.

D'autres hypothèses pourront être faites, naturellement, sur la fonction $q(p)$.

3 - DISPOSITIF EXPERIMENTAL.

3.1. Facteurs contrôlés et type de l'essai.

- Le 1er facteur contrôlé est le facteur orientation des pots de culture dans la serre, ce facteur indicé "i" comporte 2 variantes :
pour $i = 1$, l'orientation correspond à l'est,
pour $i = 2$, l'orientation correspond à l'ouest.
- Le 2ème facteur contrôlé est le facteur fumure, indicé "j" avec 5 variantes pour lesquelles les différents apports se répartissent de la manière suivante :

Variantes "j"	Fertilisations : nature et/ou présence		
	N 450 kg/ha	P ₂ O ₅ (750 kg/ha) et K ₂ O (720 kg/ha) sous forme de PO ₄ KH ₂ et SO ₄ K ₂ .	oligoéléments : B, Cu, Mo, Zn.
1	nitrate de calcium	oui	oui
2	sulfate d'ammonium	oui	oui
3	urée	oui	oui
4	rien	rien	rien
5	rien	oui	oui

Ces apports sont basés sur l'estimation que les engrais de fond appliqués au champ concernent 3.000 t/ha de terre sèche.

Chaque apport sera donc proportionnel au poids de sol contenu dans les différents pots, qui caractérise le 3ème facteur contrôlé.

Les quantités d'éléments (N-P-K) à apporter par pot sont données dans les tableaux suivants, ainsi que les oligo-éléments (B, Cu, Mo, Zn) qui sont apportés systématiquement pour l'ensemble des pots, excepté pour j₄.

- Le 3ème facteur contrôlé est le facteur volume de sol, indicé "k", avec 5 variantes :

Variante "k"	Poids de terre / pot
1	2,000 kg
2	2,900 kg
3	4,600 kg
4	6,800 kg
5	9,000 kg

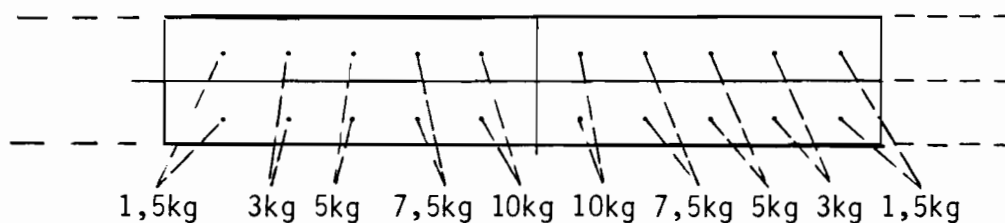
Les pots ayant été conçus pour un volume donné de sol, équivalant respectivement à 1,5 kg, 3 kg, 5 kg, 7,5 kg et 10 kg, la correction des poids a été rendue nécessaire en raison du gonflement du vertisol au moment de la mise en eau des pots de culture.

- le 4ème facteur contrôlé sera le facteur blocs indicé "l", avec 3 variantes :

- . l = 1, pour le bloc situé à l'est dans la serre,
- . l = 2, pour le bloc situé au centre,
- . l = 3, pour le bloc situé à l'ouest dans la serre.

L'essai est du type à blocs et parcelles subdivisés, à 3 répétitions complètes, randomisé seulement pour le facteur contrôlé fumure. L'emplacement schématique des traitements est donné sur le plan ci-joint.

A cause des développements différents de *Panicum*, et pour que des questions d'éclaircissement n'interviennent pas, les pots seront toujours disposés dans le même ordre croissant ou décroissant de volumes, soit pour un bloc donné, l'alignement suivant :



QUANTITE DE N et 15N à apporter/pot,
pour une fumure de 450N (150mg N/kg sol).

variantes j et k	formes apportées	quantités néces- saires et concen- tration.	apports/pot					
			mg sel	volume ml	N mg	¹⁵ N mg		
$\left. \begin{array}{l} j_{1k_1} \\ j_{1k_3} \\ j_{1k_4} \\ j_{1k_5} \\ j_{1k_2} \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} \text{Ca(NO}_3)_2, 4 \text{ H}_2\text{O} \\ + \\ \text{Ca(15NO}_3)_2 \text{ à } 96,4\% \end{array} \right\}$	pour 140kg sol :						
		173 ^g ,355 (N = 209,56)	pour 1 l.	2515	14,3	300	6,0	
		+ 2 ^g ,552 (15N = 420mg)		5787	32,9	690	13,8	
				pour 20kg sol :				
				219,791 (N = 29,585) + 29,430 (15N = 400mg)	250ml	3517	36,3	435
			11311	64,3		1020	27,0	
$\left. \begin{array}{l} j_{2k_1} \\ j_{2k_3} \\ j_{2k_4} \\ j_{2k_5} \\ j_{2k_2} \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} (\text{NH}_4)_2 \text{ SO}_4 \\ + \\ (\text{15NH}_4)_2 \text{ SO}_4 \text{ à } 98,7\% \\ \\ (\text{NH}_4)_2 \text{ SO}_4 + \\ (\text{15NH}_4)_2 \text{ SO}_4 \text{ à } 95\% \end{array} \right\}$	pour 140kg sol :						
		97 ^g ,058 (N = 20 ^g ,576)	pour 1 l.	1416	14,3	300	6,0	
		+ 2 ^g ,000 (15N = 418,5mg)		3259	32,9	690	13,8	
				pour 20kg sol :				
				12 ^g ,151 (N = 2 ^g ,576) + 29,000 (15N = 402,8mg)	250ml	2055	36,3	435
			4814	48,6		1020	20,3	
				6369	64,3	1350	26,9	
$\left. \begin{array}{l} j_{3k_1} \\ j_{3k_3} \\ j_{3k_4} \\ j_{3k_5} \\ j_{3k_2} \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} \text{CO (NH}_2)_2 \\ + \\ \text{CO(15 NH}_2)_2 \text{ à } 95\% \\ \\ \text{CO(NH}_2)_2 \\ + \\ \text{CO(15NH}_2)_2 \text{ à } 95\% \end{array} \right\}$	pour 140kg sol :						
		43 ^g ,223 (N = 209,160)	pour 1 l.	632	14,3	300	6,0	
		+ 0 ^g ,948 (15N = 420mg)		1453	32,9	690	13,8	
				pour 20kg sol :				
				4 ^g ,717 (N = 2 ^g ,200) + 0 ^g ,903 (15N = 400mg)	250ml	816	36,3	435
			2147	48,6		1020	20,4	
				2840	64,3	1350	27,0	

QUANTITE DE P, K et OLIGO-ELEMENTS A APPORTER/POT

pour une fumure de 750 P₂O₅ et 600 K.

éléments	variantes j et k	formes apportées	concentration volumes à prévoir		apports/pot		
					volume ml	mg sel	élément mg
P	j _{1, 2, 3, 5}	KH ₂ PO ₄ " " " "	95 ^g ,877/1 prévoir 31,5 = soit 335 ^g ,572	10,0	959	218,2	
	k ₁			14,5	1390	316,4	
	k ₂			23,0	2205	501,9	
	k ₃			34,0	3260	741,9	
	k ₄			45,0	4314	981,9	
K	j _{1, 2, 3, 5}	complément potassique avec : K ₂ SO ₄ " " " "	27 ^g ,747/1 prévoir 31,5 = soit 97 ^g ,114	10,0	277	total 400	
	k ₁			14,5	402	580	
	k ₂			23,0	638	920	
	k ₃			34,0	943	1360	
	k ₄			45,0	1249	1800	
B Cu Mo Zn	j _{1, 2, 3, 5}	BO ₃ H ₃ + SO ₄ Cu, 5H ₂ O + Mo ₇ O ₂₄ (NH ₄) ₆ , 1,5H ₂ O + SO ₄ Zn, 7H ₂ O	mg/l	g/3 ^l ,5	10,0 14,5 23,0 34,0 45,0	15 22 34 51 68	
	k ₁		400	1,400			
	k ₂		626	2,190			
	k ₃		32	0,112			
	k ₄		446	1,561			
k ₅							

EMPLACEMENT SCHEMATIQUE DES TRAITEMENTS

3		2		1	
2413	1413	2152	1152	2511	1511
2423	1423	2142	1142	2521	1521
2433	1433	2132	1132	2531	1531
2443	1443	2122	1122	2541	1541
2453	1453	2112	1112	2551	1551
2553	1553	2512	1512	2251	1251
2543	1543	2522	1522	2241	1241
2533	1533	2532	1532	2231	1231
2523	1523	2542	1542	2221	1221
2513	1513	2552	1552	2211	1211
2213	1213	2352	1352	2111	1111
2223	1223	2342	1342	2121	1121
2233	1233	2332	1332	2131	1131
2243	1243	2322	1322	2141	1141
2253	1253	2312	1312	2151	1151
2353	1353	2412	1412	2451	1451
2343	1343	2422	1422	2441	1441
2333	1333	2432	1432	2431	1431
2323	1323	2442	1442	2421	1421
2313	1313	2452	1452	2411	1411
2113	1113	2252	1252	2311	1311
2123	1123	2242	1242	2321	1321
2133	1133	2232	1232	2331	1331
2143	1143	2222	1222	2341	1341
2153	1153	2212	1212	2351	1351

3.2. Observations : données de base et dérivées, données estimées.

Les observations et les mesures à réaliser seront les suivantes :

- en cours de végétation :

- . des mesures de hauteur du Panicum 2 fois/semaine, du sol à l'extrémité de l'ensemble des feuilles ; on en déduira les vitesses de croissance (exprimées en cm/jour) ;
- . des observations qualitatives (importance du développement, couleur des feuilles etc....) ;
- . une dernière mesure de hauteur juste avant la coupe.

- à la coupe : soit 5 à 6 semaines après le semis

- . comptage du nombre de tiges/pot,
- . mesure des volumes et des conductivités sur les solutions restantes,
- . coupe et récolte du Panicum pour chaque pot.

- après la coupe :

- . détermination du poids de matière sèche obtenu/pot ;
- . détermination des teneurs en azote (N total et ^{15}N), P, K, Ca, Mg, Na, silice et cendres des tiges + feuilles de chaque pot ;
- . calcul des quantités exportées/pot, pour chaque élément.

- après 3 coupes :

- . séparation des racines, détermination de leur poids en matière sèche - analyses, dont ^{15}N ;
- . sur les pots de 2,9 kg (plus fortement marqués en ^{15}N), analyse du sol, dont ^{15}N .
- . sur les autres pots, analyse du sol.

4 - CONDUITE DE L'ETUDE.

4.1. Mise en place de l'essai.

La mise en place s'effectuera selon le protocole décrit précédemment.

Le vertisol utilisé (vertisol modal de Pouembout) aura été préalablement homogénéisé, et séparé en lots correspondant à une série de 2 fois x 5 pots, représentant 1 traitement pour un bloc donné. Puis le sol sera pesé, et les pots seront disposés en serre selon le plan donné.

4.2. Irrigation et fertilisation.

Avant d'apporter les engrais, le sol des pots sera amené à une humidité proche de la capacité de rétention, ce qui correspond à un certain gonflement pour le vertisol testé.

L'alimentation en eau du sol se fait par l'intermédiaire de bandes de tissu de verre plongeant dans une cuvette remplie d'eau à une extrémité, l'autre extrémité étant en contact avec le sol ; plus ce contact sera important, meilleur sera le débit du volume d'eau à travers la colonne de sol.

Après l'humidification du sol, le semis est effectué, à raison de 200mg de graines de *Panicum maximum*/pot, lesquelles sont légèrement recouvertes de terre fine pour favoriser la germination.

Les engrais seront apportés sous forme soluble, et ajoutés à l'eau de la cuvette d'alimentation. Afin que la conductivité de cette solution nutritive ne soit pas trop élevée, l'apport des engrais azotés sera fractionné. Dans la mesure du possible, la concentration des solutions de départ devra être la même pour les différents volumes de sol, ce qui implique un moindre volume d'eau d'alimentation pour les petits pots que pour les grands pots, l'apport fertilisant étant proportionnel au poids de sol.

Le nombre de pots de culture étant très important, et leur volume appréciable, la concentration en $^{15}\text{N}/\text{kg}/\text{sol}$ sera limitée à environ 3mg $^{15}\text{N}/\text{kg}$ sol pour les pots de 2kg, 4,6kg, 6,8kg et 9kg, sur lesquels l'azote ^{15}N ne sera déterminé que sur les tiges + feuilles. Par contre, sur les pots de 2,9kg de sol, l'apport $^{15}\text{N}/\text{kg}/\text{sol}$ sera plus important, soit environ 20mg $^{15}\text{N}/\text{kg}$ sol, afin d'être aisément dosable en fin d'expérimentation sur les racines et le sol.

4.3. Suivi de la végétation et entretien de l'essai.

Les mesures de hauteur seront effectuées 2 fois/semaine dès que le Panicum aura atteint 10 à 15cm.

Au fur et à mesure que le Panicum se développe, son exigence en eau s'accroît ; elle peut atteindre, au maximum de son développement, 2,5litres/jour, volume nécessaire à compenser les besoins de la plante. Entre le 25ème et le 30ème jour après le semis, période critique pour la plante car sa vitesse de croissance est maximum, il faut redoubler de vigilance, et s'assurer que l'alimentation en eau des pots de culture s'effectue normalement.

4.4. Fauches intermédiaires.

Au total, 3 fauches sont prévues, pour aller si possible jusqu'à l'épuisement du sol par la plante.

Elles s'effectueront en principe, comme suit :

1ère coupe = 35 jours après le semis,
2ème coupe = 30 jours après la 1ère coupe,
3ème coupe = 30 jours après la 2ème coupe.

Pour chacune des coupes, et sur chacun des pots de culture, le poids de matière sèche obtenu sera déterminé.

4.5. Fauche finale de démontage de l'essai.

Après la 3ème coupe, il est nécessaire de récupérer tout le système sol-plante mis en place, aux fins d'analyses, puisque dès le départ on a travaillé en circuit fermé, avec des données sol et engrais qui étaient connues.

Ainsi, les percolats seront récupérés et les toiles en tissu de verre seront rincées et les eaux de rinçage jointes aux percolats ; ceux-ci seront analysés.

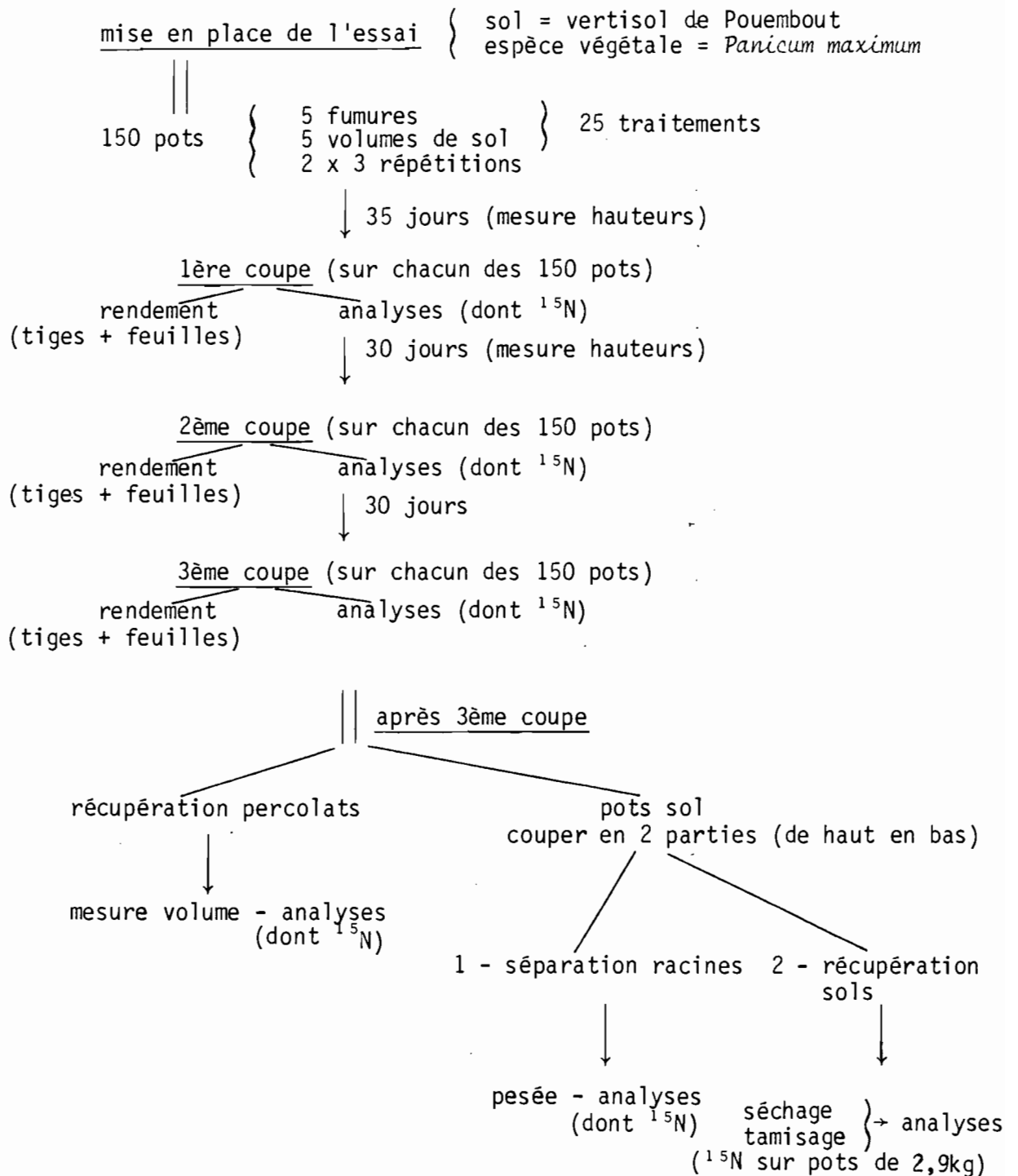
Les pots seront démontés, et le sol sera coupé en 2 dans le sens de la hauteur, avec pesée de chacune des 2 parties :

une moitié sera tamisée sous l'eau, pour en séparer les racines, lesquelles seront séchées, pesées, broyées puis analysées ;

L'autre moitié considérée comme l'état du sol après la culture, sera séchée, pesée, broyée (racines comprises), puis analysée ; on déduira de ces analyses, la part revenant aux racines.

L'ensemble de ces données, par l'intermédiaire de ^{15}N , doit permettre d'établir un bilan de l'azote ; mais les autres données, notamment P et K, doivent aussi permettre de comprendre les échanges sol-engrais-plante.

La conduite de l'étude peut se résumer ainsi :



ANNEXE 1.

AJUSTEMENT DE n COUPLES DE VALEURS OBSERVEES (p_i, q_i)
SUR LA FONCTION

$$q = q_M \cdot \{1 - [(p_M - p)/p_M]^k\}$$

1 - RAPPEL DES CONDITIONS AUXQUELLES DOIVENT REpondRE LES OBSERVATIONS.

Comme indiqué au paragraphe 2.2.6., les observations doivent répondre aux trois conditions suivantes :

$$\left\| \begin{array}{l} n \geq 4 \\ p_M > p_n \\ q_M > q_n \end{array} \right.$$

2 - PRINCIPE DE L'AJUSTEMENT.

Soit un couple de valeurs quelconques (p_M, q_M) répondant aux conditions nécessaires ci-dessus (p_M et q_M étant définies, par exemple, par $p_M = a \cdot p_n$ et $q_M = b \cdot q_n$, a et b étant deux constantes supérieures à 1).

Soient alors :

$$\left\| \begin{array}{l} k_i = (L_N |q_M - q_i| / q_M) / (L_N |p_M - p_i| / p_M) \\ k = \sum_{i=1}^n k_i / n \\ s_k^2 = \sum_{i=1}^n (k_i - k)^2 / (n-1) \\ CVk = 100 \cdot s_k / k \end{array} \right.$$

Le coefficient de variation CVk étant minimum lorsque p_M et q_M atteignent simultanément des valeurs proches de leurs valeurs exactes respectives, le programme d'ajustement a pour objectif de rechercher pour quel couple (p_M, q_M) on observera le plus petit coefficient de variation CVk .

3 - PREPARATION DE L'AJUSTEMENT.

Soient donc les n couples de valeurs observées (q_i, p_i) et soit q_{M0} la plus grande des n valeurs observées q_i (en général $q_{M0} = q_n$, mais l'éventualité $q_{M0} = q_{n-1}$ n'est pas à exclure).

L'indice l étant le numéro d'ordre des valeurs successives données à q_M et l'indice j étant celui des valeurs successives données à p_M lorsque $q_M = q_{Ml}$, on peut écrire

$$(1) \left\{ \begin{aligned} k_{ij1} &= (L_n |q_{M1} - q_i| / q_{M1}) / (L_N |p_{Mj1} - p_i| / p_{Mj1}) \\ k_{j1} &= \sum_{i=1}^n k_{ij1} / n \\ s^2 k_{j1} &= \sum_{i=1}^n (k_{ij1} - k_{j1})^2 / (n-1) \\ CVk_{j1} &= 100 \cdot s k_{j1} / k_{j1} \end{aligned} \right.$$

Soient maintenant :

$$(2) \left\{ \begin{aligned} p_{M(j+1)1} &= p_{Mj1} + dp_{j1} \text{ avec } p_{M11} = a \cdot p_n \text{ et } dp_M = u \cdot p_n \\ q_{M(l+1)} &= q_{Ml} + dq_l \text{ avec } q_{M1} = b \cdot q_M \text{ et } dq_1 = v \cdot q_{M0} \end{aligned} \right.$$

a, b, u et v étant des constantes choisies en fonction des données observées (cf plus loin les remarques finales).

Soient alors, calculées et mises en mémoire, p_{M11} , q_{M1} , dp_{11} , dq_1 , CVk_{11} , p_{M21} .

Pour lancer le programme on considère que :

$$(3) \left\{ \begin{aligned} p_{M11} &= p_{Mj1} = p_{Mm(l-1)} \\ dp_{11} &= dp_{j1} \\ p_{M21} &= p_{M(j+1)1} \\ q_{M1} &= q_{Ml} = q_{M(l-1)} \\ dq_1 &= dq_{(l-1)} \\ CVk_{11} &= CVk_{j1} = CVk_{m(l-1)} \end{aligned} \right.$$

4 - REALISATION DE L'AJUSTEMENT.

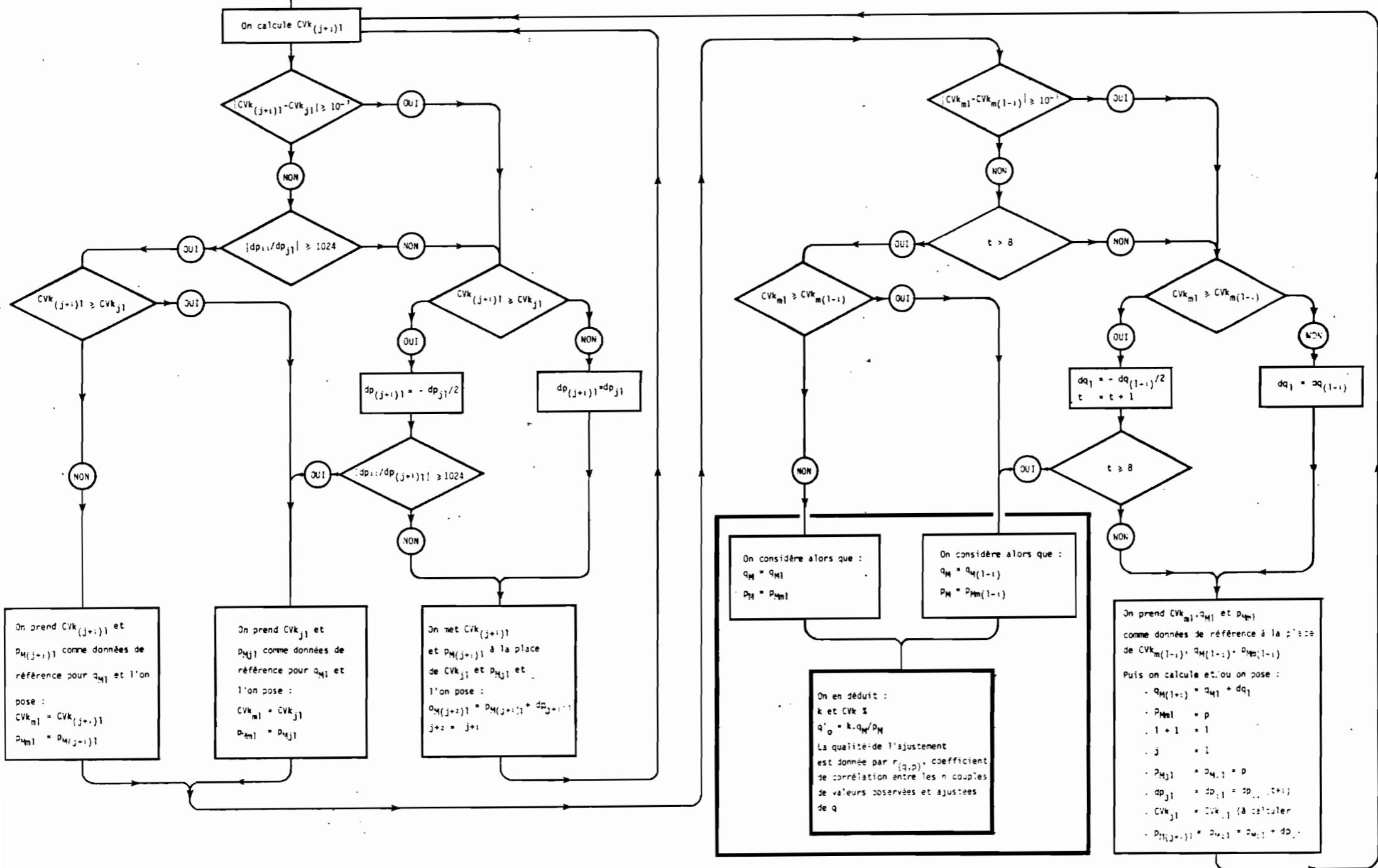
L'organigramme ci-après permet alors d'ajuster progressivement la fonction $q(p)$ aux n couples (p_i, q_i) .

5 - REMARQUES FINALES.

5.1. Des précisions finales $dp_f \leq p_n / 2^{12}$ et $dq_f \leq q_{M0} / 2^{12}$ paraissent largement suffisantes pour les besoins de l'étude.

DEBUT
 Sont en mémoire :
 - n et les n couples (p_i, q_i)
 - t, un compteur égal à 0 au départ
 - $P_{Mj} (=P_{M_{j+1}}, P_{M(j+1)} (=P_{M_{2j}}, P_{M(1-1)} (=P_{M_{1j}})$
 - $d_{p_{1j}}, d_{p_{2j}} (=d_{p_{1j}}, d_{q_{1j}} (=d_{q_{1j}})$
 - $q_{M1} (=q_{M_1}), q_{M(1-1)} (=q_{M_1})$
 - $CVk_{j1} (=CVk_{1j}), CVk_{m(1-1)} (=CVk_{1j})$

ORGANIGRAMME DE L'AJUSTEMENT DE $q = q_M \cdot 1 - [(P_M - p)/P_M]^k$
 SUR LES n COUPLES DE VALEURS OBSERVEES (p_i, q_i)



On peut dans ces conditions fixer les valeurs de u et v à $1/2^4$

. D'autre part il faut choisir a et b de telle sorte que l'on ait à la fois :

$$\begin{cases} p_{M11} - dp_{11} > p_n \\ q_{M1} - dq_1 > q_{M0} \end{cases}$$

Pour cela il faut et il suffit que l'on ait :

$$\begin{cases} a > 1+u \\ b > 1+v \end{cases}$$

c'est à dire :

$$\begin{cases} a > 1,0625 \\ b > 1,0625 \end{cases}$$

On prendra, par exemple, $a = b = 1,1$

. Enfin, il faut impérativement que a et b soient des nombres premiers (ou des multiples de nombres premiers) pour que l'on ait toujours :

$$\begin{cases} q_M \neq q_{M0} \text{ et } q_n \\ p_M \neq p_n \end{cases}$$

5.2. Dans le cas où q_n semblerait graphiquement proche de q_M (inconnu pour mémoire), et donc dans le cas où p_n serait voisin de p_M lui aussi, il faudrait alors prendre pour u et v des valeurs beaucoup plus faibles que $1/2^4$ afin de ne pas courir le risque d'avoir, au cours des calculs :

$$\begin{cases} p_{Mj1} < p_n \end{cases}$$

A N N E X E 2.

ANALYSES STATISTIQUES DES RESULTATS.

A N N E X E 2.

ANALYSES STATISTIQUES DES RESULTATS.

-0-

1 - CONSIDERATIONS GENERALES SUR LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL.

Le dispositif expérimental comporte donc quatre facteurs contrôlés : les facteurs "orientation des pots", "fumure", "volume des pots" et "bloc".

L'unité de base est la parcelle qui, soumise à une fumure déterminée, est constituée de cinq couples de pots de volumes différents, orientés dans la direction est-ouest.

Le dispositif est ainsi de type à blocs et parcelles subdivisés.

En effet, le premier facteur divise en deux lots "est" et "ouest" l'ensemble des pots de chaque bloc, et les cinq niveaux du troisième facteur sont présents à l'intérieur de chacune des cinq parcelles de chaque bloc, l'affectation des variantes du facteur fumure aux parcelles de chaque bloc étant par contre aléatoire.

Les niveaux, ou la nature, des variantes de ces quatre facteurs contrôlés sont précisés dans le tableau A ci-après.

Leur position dans le dispositif expérimental est indiqué sur le plan schématique de la serre donné page 11.

2 - ANALYSES DE VARIANCE.

L'interprétation des données nécessite la disposition de quatre principaux modèles linéaires d'analyse de variance. Ces modèles sont adaptés aux cas de variables pour lesquelles on dispose d'une observation

- . par pot ("variables x_{ijk1} "),
- . par couple de pots ("variables x_{jk1} "),
- . par série "est" et "ouest" de 5 pots ("variables x_{ij1} " résultant d'ajustements effectués sur le facteur "volume des pots" de variables x_{ijk1}),

. par série de 5 couples de pots ("variables $x_{j\uparrow}$ " résultant d'ajustements effectués sur le facteur "volume des pots" de variables $x_{jk\uparrow}$)

2.1. Cas de variables $x_{ijk\uparrow}$ pour lesquelles on dispose d'une observation par pot.

Lorsque l'on dispose d'une observation par pot le modèle de base à utiliser au départ est celui indiqué sur le tableau 1.1. à la fin de l'annexe.

Ce modèle permet de tester les effets principaux et les interactions de tous les facteurs contrôlés (sauf du facteur bloc).

Une étude systématique de l'homogénéité des variances résiduelles doit suivre ensuite l'analyse de variance (cf le tableau 1.1 bis).

Cette étude permet d'améliorer la précision des tests F de l'analyse de variance et, en particulier, de s'assurer de l'intérêt de prendre en considération le facteur "orientation des pots".

A ce sujet si,

1 - les variances résiduelles relatives au facteur D et à ses interactions avec les facteurs F et V (les variances s_{E1}^2 , s_{E3}^2 , s_{E5}^2 et s_{E7}^2) sont homogènes et si,

2 - aucun des facteurs D, DF, DV et DEV n'agit de façon significative,

alors on peut envisager un deuxième modèle linéaire d'analyse de variance, plus simple.

Ce modèle est indiqué sur le tableau 1.2 à la fin de l'annexe.

A cette analyse de variance doit être attachée aussi une étude systématique de l'homogénéité des variances résiduelles qui permet d'améliorer la précision des tests F (cf le tableau 1.2 bis) et, secondairement, de tester le facteur bloc.

2.2. Cas des variables $x_{jk\uparrow}$ pour lesquelles on ne dispose que d'une observation par couple de pots.

Lorsque l'on ne dispose plus que d'une observation par couple, le modèle linéaire d'analyse de variance se simplifie encore (cf le tableau 2 à la fin de l'annexe) par rapport au modèle linéaire du tableau 1.2. : il comprend en moins une

résiduelle intra-parcelle. On peut remarquer aussi que, bien que les estimations des termes du modèle soient les mêmes, de même que leurs degrés de liberté, les formules donnant leurs variances diffèrent d'un facteur n_D : le nombre des données x_{jkl} est, en effet, n_D fois plus faible que celui des données x_{jk} .

Une étude de l'homogénéité des variances résiduelles doit suivre, à nouveau, l'analyse de variance (cf le tableau 2bis). Comme les précédentes, elle peut conduire à une plus grande précision dans l'estimation des effets significatifs des facteurs contrôlés.

2.3. Cas de variables x_{ij} pour lesquelles on dispose d'une observation pour chaque série "est" et "ouest" de cinq pots.

S'agissant des variables résultant d'ajustements (sur le facteur volume des pots) appliqués à des données observées sous chacune des deux séries "est" et "ouest" de cinq pots de chaque parcelle, le modèle linéaire à utiliser au départ est indiqué dans le tableau 3.1. à la fin de l'annexe. Ce modèle ne comporte évidemment plus les termes v_k , $(dv)_{ik}$, $(fv)_{jk}$ et $(dfv)_{ijk}$ et leurs interactions avec le facteur bloc du modèle linéaire du tableau 1.1.

Comme précédemment (cf le paragraphe 2.1.), l'étude de l'homogénéité des variances résiduelles (cf le tableau 3.1bis) permet :

1 - d'améliorer la précision des tests F des facteurs contrôlés ;

2 - de vérifier l'intérêt de prendre en considération le facteur "orientation des pots" : si les variances résiduelles relatives aux facteurs D et DF sont homogènes et si les tests F de ces deux facteurs ne sont pas significatifs, alors on peut envisager de choisir un deuxième modèle linéaire d'analyse de variance plus simple (cf les tableaux 3.2. et 3.2bis).

2.4. Cas de variables x_{j} pour lesquelles on ne dispose que d'une observation par série de 5 couples de pots.

S'agissant enfin des variables résultant d'ajustement sur le facteur volume des pots appliqués à des données moyennes observées sur chacun des cinq couples de pots de chaque parcelle, le modèle linéaire d'analyse de la variance est le plus simple qui soit (cf le tableau 4).

A - VARIANTES DES FACTEURS CONTROLES.

Facteurs controlés	Sigles	Indices	Variantes : significations
Orientation des pots	D	i	i = 1 : pot situé à l'est i = 2 : pot situé à l'ouest
Fumure	F	j	j = 4 : aucune fumure minérale j = 5 : fumure incomplète (sans N) j = 1 : fumure complète (N sous la forme $(NO_3)_2Ca$) j = 2 : fumure complète (N sous la forme $SO_4(NH_4)_2$) j = 3 : fumure complète (N sous la forme $CO(NH_2)_2$)
Volume des pots	V	k	k = 1 : pot contenant 2,0 kg sol k = 2 : " " 2,9 " " k = 3 : " " 4,6 " " k = 4 : " " 6,8 " " k = 5 : " " 9,0 " "
Bloc	B	l	l = 1 : bloc est l = 2 : bloc central l = 3 : bloc ouest

3 - COMPARAISON DE MOYENNES.

Faisant suite à l'analyse de variance, la comparaison des moyennes s'effectuera sur les facteurs suivants :

- fumure, volume, interaction orientation x fumure, interaction orientation x volume, interaction fumure x volume, interaction orientation x fumure x volume.

Toutes ces comparaisons sont effectuées à l'aide du test de Newman et Keuls.

3.1. Comparaison sur les facteurs contrôlés fumure et volume.

Le test de Newman et Keuls s'applique directement au groupe de 5 moyennes.

3.2. Comparaison sur les interactions de 1er et de 2ème ordres.

Toutes les comparaisons de moyennes possibles ne sont pas intéressantes en vue de l'interprétation scientifique des résultats. Les différents groupes de moyennes à comparer sont présentés dans les schémas ci-après.

Dans chacun de ces schémas :

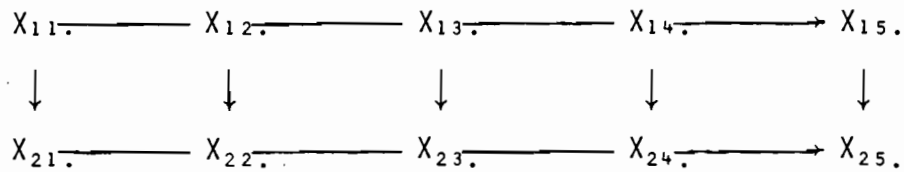
- X_{ijk} représente la moyenne des pots ayant reçu le traitement ijk (pour les significations des indices i , j et k , voir le paragraphe 2, tableau A : "Variantes des facteurs contrôlés"),
- les moyennes à comparer entre elles sont reliées par une flèche.

4 - CORRELATIONS.

Le dispositif expérimental permet également d'étudier les relations susceptibles d'exister entre deux ou plusieurs caractéristiques.

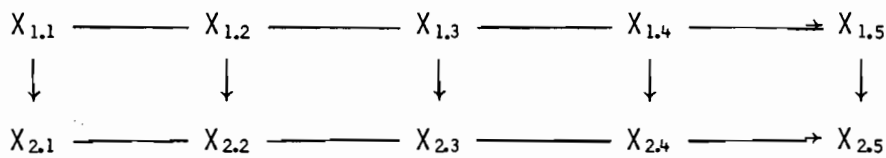
Cette étude, si elle est entreprise, portera alors sur tous les niveaux des termes homologues des variables rapprochées et comportera finalement des tests d'homogénéité des coefficients de corrélation et de parallélisme des coefficients de régressions. En outre, la normalité des variables rapprochées pourra être vérifiée préalablement.

a) Interaction Orientation x fumure.



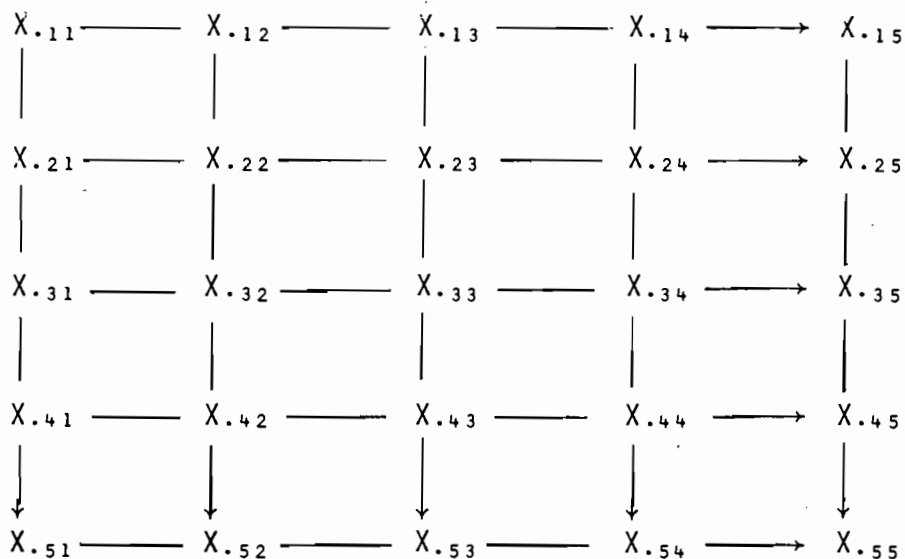
il y a 2 groupes de cinq moyennes et 5 groupes de 2 moyennes à comparer

b) Interaction Orientation x volume.



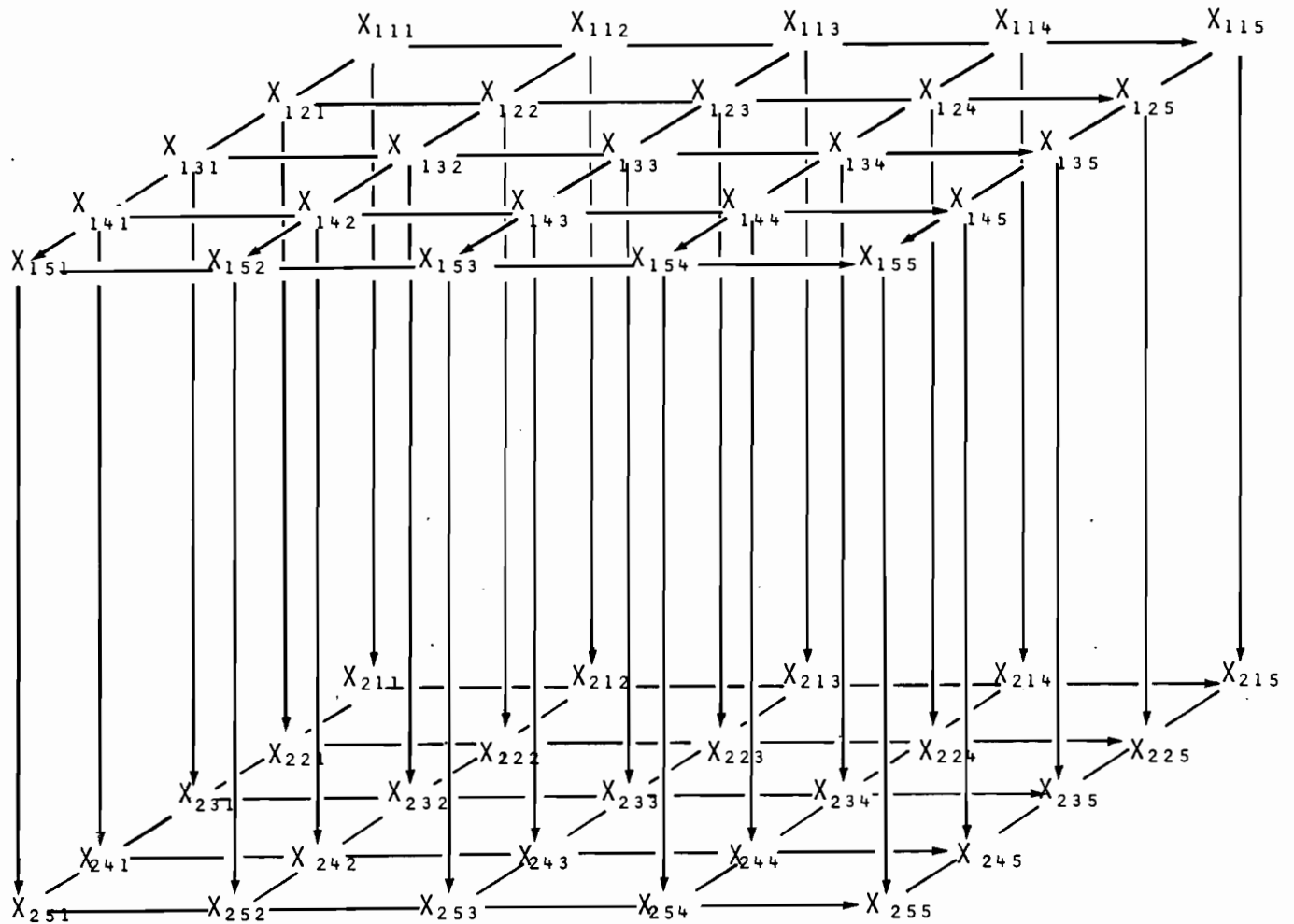
même remarque que pour le paragraphe a)

c) Interaction fumure x volume



Il y a 10 groupes de 5 moyennes à comparer.

d) Interaction orientation x fumure x volume.



Il y a 20 groupes de 5 moyennes et 25 groupes de 2 moyennes à comparer.

1-1 - ANALYSES DE VARIANCE DES PARAMETRES OBSERVES SUR CHAQUE POT, AVEC PRISE EN CONSIDERATION DU FACTEUR CONTROLE "ORIENTATION DES POTS".

Modèle linéaire : $x_{ijkl} = \bar{x} + d_i + e_{il} + f_j + e_{jl} + (df)_{ij} + e_{ijl} + v_h + e_{hl} + (dv)_{ih} + e_{ihl} + (fv)_{jh} + e_{jhl} + (d fv)_{ijh} + e_{ijhl} + be$ avec $g_{ijkl} = x_{ijkl} - \bar{x}$

Termes du modèle	Signification des termes du modèle	Estimations des termes du modèle	Degrés de liberté	Variances des effets	Tests F
d_i	Effet "orientation des pots"	$\bar{x}_i - \bar{x}$	$\nu_D = (n_D - 1)$	$s_D^2 = n_F \cdot n_V \cdot n_B \cdot \sum_i (d_i)^2 / \nu_D$	s_D^2 / s^2_{E1}
$e_{il} = e_1$	Résiduelle relative à l'effet "orientation"	$\bar{x}_{il} - \bar{x}_i - \bar{x}_l + \bar{x}$	$\nu_{E1} = (n_D - 1)(n_B - 1)$	$s^2_{E1} = n_F \cdot n_V \cdot \sum_{il} (e_1)^2 / \nu_{E1}$	-
f_j	Effet "fumure"	$\bar{x}_j - \bar{x}$	$\nu_F = (n_F - 1)$	$s_F^2 = n_D \cdot n_V \cdot n_B \cdot \sum_j (f_j)^2 / \nu_F$	s_F^2 / s^2_{E2}
$e_{jl} = e_2$	Résiduelle relative à l'effet "fumure"	$\bar{x}_{jl} - \bar{x}_j - \bar{x}_l + \bar{x}$	$\nu_{E2} = (n_F - 1)(n_B - 1)$	$s^2_{E2} = n_D \cdot n_V \cdot \sum_{jl} (e_2)^2 / \nu_{E2}$	-
$(df)_{ij}$	Interaction "orientation x fumure"	$\bar{x}_{ij} - \bar{x}_i - \bar{x}_j + \bar{x}$	$\nu_{DF} = (n_D - 1)(n_F - 1)$	$s^2_{DF} = n_V \cdot n_B \cdot \sum_{ij} (df)_{ij}^2 / \nu_{DF}$	s^2_{DF} / s^2_{E3}
$e_{ijl} = e_3$	Résiduelle relative à l'interaction "orientation x fumure"	$\bar{x}_{ijl} - \bar{x}_{ij} - \bar{x}_{il} - \bar{x}_{jl} + \bar{x}_i + \bar{x}_j + \bar{x}_l - \bar{x}$	$\nu_{E3} = (n_D - 1)(n_F - 1)(n_B - 1)$	$s^2_{E3} = n_V \cdot \sum_{ijl} (e_3)^2 / \nu_{E3}$	-
v_h	Effet "volume de terre"	$\bar{x}_h - \bar{x}$	$\nu_V = (n_V - 1)$	$s_V^2 = n_D \cdot n_F \cdot n_B \cdot \sum_h (v_h)^2 / \nu_V$	s_V^2 / s^2_{E4}
$e_{hl} = e_4$	Résiduelle relative à l'effet "volume"	$\bar{x}_{hl} - \bar{x}_h - \bar{x}_l + \bar{x}$	$\nu_{E4} = (n_V - 1)(n_D - 1)$	$s^2_{E4} = n_D \cdot n_F \cdot \sum_{hl} (e_4)^2 / \nu_{E4}$	-
$(dv)_{ih}$	Interaction "orientation x volume"	$\bar{x}_{ih} - \bar{x}_i - \bar{x}_h + \bar{x}$	$\nu_{DV} = (n_D - 1)(n_V - 1)$	$s^2_{DV} = n_F \cdot n_B \cdot \sum_{ih} (dv)_{ih}^2 / \nu_{DV}$	s^2_{DV} / s^2_{E5}
$e_{ihl} = e_5$	Résiduelle relative à l'interaction "orientation x volume"	$\bar{x}_{ihl} - \bar{x}_{ih} - \bar{x}_{il} - \bar{x}_{hl} + \bar{x}_i + \bar{x}_h + \bar{x}_l - \bar{x}$	$\nu_{E5} = (n_D - 1)(n_V - 1)(n_B - 1)$	$s^2_{E5} = n_F \cdot \sum_{ihl} (e_5)^2 / \nu_{E5}$	-
$(fv)_{jh}$	Interaction "fumure x volume"	$\bar{x}_{jh} - \bar{x}_j - \bar{x}_h + \bar{x}$	$\nu_{VF} = (n_F - 1)(n_V - 1)$	$s^2_{FV} = n_D \cdot n_B \cdot \sum_{jh} (fv)_{jh}^2 / \nu_{FV}$	s^2_{FV} / s^2_{E6}
$e_{jhl} = e_6$	Résiduelle relative à l'interaction "fumure x volume"	$\bar{x}_{jhl} - \bar{x}_{jh} - \bar{x}_{jl} - \bar{x}_{hl} + \bar{x}_j + \bar{x}_h + \bar{x}_l - \bar{x}$	$\nu_{E6} = (n_F - 1)(n_V - 1)(n_B - 1)$	$s^2_{E6} = n_D \cdot \sum_{jhl} (e_6)^2 / \nu_{E6}$	-
$(d fv)_{ijh}$	Interaction "orientation x fumure x volume"	$\bar{x}_{ijh} - \bar{x}_{ij} - \bar{x}_{ih} - \bar{x}_{jh} + \bar{x}_i + \bar{x}_j + \bar{x}_h - \bar{x}$	$\nu_{DFV} = (n_D - 1)(n_F - 1)(n_V - 1)$	$s^2_{DFV} = n_B \cdot \sum_{ijh} (d fv)_{ijh}^2 / \nu_{DFV}$	s^2_{DFV} / s^2_{E7}
$e_{ijhl} = e_7$	Résiduelle relative à l'interaction "orientation x fumure x volume"	$x_{ijhl} - \bar{x}_{ijh} - \bar{x}_{ijl} - \bar{x}_{ihl} - \bar{x}_{jhl} + \bar{x}_{ij} + \bar{x}_{ih} + \bar{x}_{il} + \bar{x}_{jh} + \bar{x}_{jl} + \bar{x}_{hl} - \bar{x}_i - \bar{x}_j - \bar{x}_h - \bar{x} + \bar{x}$	$\nu_{E7} = (n_D - 1)(n_F - 1)(n_V - 1)(n_B - 1)$	$s^2_{E7} = \sum_{ijhl} (e_7)^2 / \nu_{E7}$	-
be	Effet bloc	$\bar{x}_l - \bar{x}$	$\nu_B = (n_B - 1)$	$s^2_B = n_D \cdot n_F \cdot n_V \cdot \sum_l (be)^2 / \nu_B$	-
g_{ijkl}	Variation générale	$x_{ijkl} - \bar{x}$	$\nu_G = n_D \cdot n_F \cdot n_V \cdot n_B - 1$	$s^2_G = \sum_{ijkl} (g_{ijkl})^2 / \nu_G$	-

1 - 1 bis - COMPARAISONS ET REGROUPEMENTS POSSIBLES DES VARIANCES RESIDUELLES.
CONSEQUENCES SUR LES TESTS F DES FACTEURS CONTROLES.

Groupes de variances résiduelles à comparer	Tests à utiliser	Calculs suivant les tests d'homogénéité des variances résiduelles, lorsqu'elles sont homogènes									
		Résidus moyens	Degrés de liberté'	Variances résiduelles*	Tests F pour **						
					s_D^2	s_F^2	s_{DF}^2	s_V^2	s_{DV}^2	s_{FV}^2	s_{DFV}^2
$s_{E2}^2, s_{E3}^2, s_{EH}^2, s_{E5}^2, s_{EC}^2, s_{E7}^2$	BARTLETT	$e_{234567} = x_{ijhl} - \bar{x}_{ijk} - \bar{x}_{il} + \bar{x}_i$	$\nu_{234567} = n_D(n_D-1)(n_F \cdot n_V - 1)$	$s_{2...7}^2 = \sum_{ijk} (e_{2...7})^2 / \nu_{2...7}$		+	+	+	+	+	+
$s_{EH}^2, s_{ES}^2, s_{EG}^2, s_{E7}^2$	BARTLETT	$e_{4567} = x_{ijhl} - \bar{x}_{ijk} - \bar{x}_{ijl} + \bar{x}_{ij}$	$\nu_{4567} = n_D(n_D-1)(n_V-1)n_F$	$s_{4...7}^2 = \sum_{ijk} (e_{4...7})^2 / \nu_{4...7}$				+	+	+	+
s_{E2}^2, s_{E3}^2	F	$e_{23} = \bar{x}_{ijl} - \bar{x}_{ij} - \bar{x}_{il} + \bar{x}_i$	$\nu_{23} = n_D(n_D-1)(n_F-1)$	$s_{23}^2 = n_V \sum_{ij} (e_{23})^2 / \nu_{23}$		+	+				
s_{EH}^2, s_{ES}^2	F	$e_{45} = \bar{x}_{ihl} - \bar{x}_{ih} - \bar{x}_{il} + \bar{x}_i$	$\nu_{45} = n_D(n_D-1)(n_V-1)$	$s_{45}^2 = n_F \sum_{ih} (e_{45})^2 / \nu_{45}$				+	+		
s_{EG}^2, s_{E7}^2	F	$e_{67} = x_{ijhl} - \bar{x}_{ijk} - \bar{x}_{ijl} - \bar{x}_{ihl} + \bar{x}_{ij} + \bar{x}_{ih} + \bar{x}_{il} - \bar{x}_i$	$\nu_{67} = n_D(n_D-1)(n_F-1)(n_V-1)$	$s_{67}^2 = \sum_{ijhl} (e_{67})^2 / \nu_{67}$						+	+
$s_{E1}^2, s_{E3}^2, s_{E5}^2, s_{E7}^2$	BARTLETT	$e_{1357} = x_{ijhl} - \bar{x}_{ijk} - \bar{x}_{jhl} + \bar{x}_{jh}$	$\nu_{1357} = n_F \cdot n_V (n_D-1)(n_D-1)$	$s_{1357}^2 = \sum_{ijk} (e_{1357})^2 / \nu_{1357}$	+		+			+	+

* Ces variances résiduelles pourront être calculées plus rapidement par :

$$s_{n...n'}^2 = \sum_{t=n}^{t=n'} s_{Et}^2 \cdot \nu_{Et} / \nu_{n...n'} \quad \text{avec} \quad \nu_{n...n'} = \sum_{t=n}^{t=n'} \nu_{Et} \quad (\text{pour les variances de rang } n \text{ considérées})$$

** Les groupes de variances résiduelles à comparer sont considérés comme indépendants les uns des autres.

Les tests F des facteurs contrôlés attachés à l'homogénéité des variances résiduelles d'un groupe seront donc à réaliser quelques soient les conclusions relatives à l'homogénéité des variances résiduelles des autres groupes.

1.2 - ANALYSE DE VARIANCE DES PARAMETRES OBSERVES SUR CHAQUE POT SANS PRISE EN CONSIDERATION DU FACTEUR CONTROLE "ORIENTATION DES POTS".

Modèle linéaire : $x_{ijkl} = \bar{x} + f_j + e_{jl} + v_h + e_{hl} + (fv)_{jh} + e_{jhl} + b_e + e_{ijkl}$

Termes du modèle	Signification des termes	Estimation des termes	Degrés de liberté	Variances des effets	Test F
f_j $e_{jl} = e_2$ v_h $e_{hl} = e_4$ $(fv)_{jh}$ $e_{jhl} = e_6$ b_e $e_{ijkl} = e_8$	} cf tableau 1.1 } Résiduelle intra-sous-parcelle	} cf tableau 1.1 } $x_{ijkl} - \bar{x}_{jhl}$	} cf tableau 1.1 } $\nu_{E8} = n_F \cdot n_V \cdot n_B (n_D - 1)$	} cf tableau 1.1 } $s^2_{E8} = \sum_{ijkl} (e_8)^2 / \nu_{E8} *$	cf tableau 1.1 s^2_{E2} / s^2_{E8} cf tableau 1.1 s^2_{E4} / s^2_{E8} cf tableau 1.1 s^2_{E6} / s^2_{E8} s^2_D / s^2_{E8} —

* On peut aussi calculer s^2_{E8} par :

$$s^2_{E8} = \{ s^2_D \cdot \nu_D + s^2_{E1} \cdot \nu_{E1} + s^2_{DF} \cdot \nu_{DF} + s^2_{E3} \cdot \nu_{E3} + s^2_{DV} \cdot \nu_{DV} + s^2_{E5} \cdot \nu_{E5} + s^2_{DFV} \cdot \nu_{DFV} + s^2_{E7} \cdot \nu_{E7} \} / \{ \nu_D + \nu_{E1} + \nu_{DF} + \nu_{E3} + \nu_{DV} + \nu_{E5} + \nu_{DFV} + \nu_{E7} \}$$

1.2 bis - COMPARAISONS ET REGROUPEMENTS POSSIBLES DES VARIANCES RESIDUELLES.
CONSEQUENCES SUR LES TESTS F DES FACTEURS CONTROLES.

Groupes de variances résiduelles à comparer	Tests à utiliser	Calculs suivant les tests d'homogénéité des variances résiduelles, lorsqu'elles sont homogènes					
		Résidus moyens	Degrés de liberté	Variances résiduelles*	Tests F pour*		
					s^2_F	s^2_V	s^2_{FV}
$s^2_{E2}, s^2_{EH}, s^2_{EG}, s^2_{E8}$	BARTLETT	$e_{2HCB} = x_{ijkl} - \bar{x}_{jh} - \bar{x}_l + \bar{x}$	$\nu_{2HCB} = (n_D - 1)(n_F \cdot n_V - 1) + n_F \cdot n_V \cdot n_D (n_D - 1)$	$s^2_{2HCB} = \sum_{ijkl} (e_{2HCB})^2 / \nu_{2HCB}$	+	+	+
$s^2_{EH}, s^2_{EG}, s^2_{E8}$	BARTLETT	$e_{HCB} = x_{ijkl} - \bar{x}_{jh} - \bar{x}_{jl} + \bar{x}_j$	$\nu_{HCB} = n_F (n_D - 1)(n_V - 1) + n_F \cdot n_V \cdot n_D (n_D - 1)$	$s^2_{HCB} = \sum_{ijkl} (e_{HCB})^2 / \nu_{HCB}$		+	+
$s^2_{E2}, s^2_{EH}, s^2_{EG}$	BARTLETT	$e_{2HG} = \bar{x}_{jhl} - \bar{x}_{jh} - \bar{x}_l + \bar{x}$	$\nu_{2HG} = (n_D - 1)(n_F \cdot n_V - 1)$	$s^2_{2HG} = n_D \cdot \sum_{jhl} (e_{2HG})^2 / \nu_{2HG}$	+	+	+
s^2_{EH}, s^2_{EG}	F	$e_{HG} = \bar{x}_{jhl} - \bar{x}_{jh} - \bar{x}_{jl} + \bar{x}_j$	$\nu_{HG} = n_F (n_D - 1)(n_V - 1)$	$s^2_{HG} = n_D \cdot \sum_{jhl} (e_{HG})^2 / \nu_{HG}$		+	+

* cf les remarques figurant sur le tableau 1.1 bis

2 - ANALYSE DE VARIANCE DES PARAMETRES OBSERVES SUR LES ECHANTILLONS MOYENS CONSTITUES PAR LA REUNION DES COUPLES DE POTS.

Modèle linéaire : $x_{jhl} = \bar{x} + f_j + e_{jl} + v_h + e_{hl} + (fv)_{jh} + e_{jhl} + t_l$

Termes du modèle	Signification des termes	Estimation des termes	Degrés de liberté	Variances des effets (cf le tableau 1-1 pour les formules donnant $s_F^2, s_{E2}^2, \dots, s_B^2$)	Tests F
f_j $e_{jl} = e_2$ v_h $e_{hl} = e_4$ $(fv)_{jh}$ $e_{jhl} = e_6$ t_l	cf tableau 1-1	cf tableau 1-1	cf tableau 1-1	$s_F^2 \approx s_F^2 / n_D$ $s_{E2}^2 \approx s_{E2}^2 / n_D$ $s_V^2 \approx s_V^2 / n_D$ $s_{E4}^2 \approx s_{E4}^2 / n_D$ $s_{FV}^2 \approx s_{FV}^2 / n_D$ $s_{E6}^2 \approx s_{E6}^2 / n_D$ $s_B^2 \approx s_B^2 / n_D$	s_F^2 / s_{E2}^2 - s_V^2 / s_{E4}^2 - s_{FV}^2 / s_{E6}^2 - -

2 bis - COMPARAISONS ET REGROUPEMENTS POSSIBLES DES VARIANCES RESIDUELLES.

CONSEQUENCES SUR LES TESTS F DES FACTEURS CONTROLES.

Groupes de variances résiduelles à comparer	Tests à utiliser	Calculs suivant les tests d'homogénéité des variances résiduelles, lorsqu'elles sont homogènes*					
		Résidus moyens	Degrés de liberté	Variances résiduelles (cf le tableau 1-2 bis pour les formules de s_{2HG}^2 et s_{HG}^2)	Tests F pour		
					s_F^2	s_V^2	s_{FV}^2
$s_{E2}^2, s_{E4}^2, s_{E6}^2$ s_{E4}^2, s_{E6}^2	BARTLETT F	e_{2HG} e_{HG}	ν_{2HG} ν_{HG}	$s_{2HG}^2 \approx s_{2HG}^2 / n_D$ $s_{HG}^2 \approx s_{HG}^2 / n_D$	+ +	+ +	+ +

* cf les remarques figurant sous le tableau 1-1 bis.

3-1 - ANALYSE DE VARIANCE DES PARAMETRES RESULTANT DES AJUSTEMENTS OPERES SUR LE FACTEUR "VOLUME DES POTS", AVEC PRISE EN CONSIDERATION DU FACTEUR "ORIENTATION DES POTS".

Modèle linéaire : $x_{ijl} = \bar{x} + d_i + e_{il} + f_j + e_{jl} + (df)_{ij} + e_{ijl} + b_l$

Termes du modèle	Signification des termes	Estimation des termes	Degrés de liberté	Variances des effets (cf le tableau 1-1 pour les formules donnant $s_D^2, s_{E1}^2, \dots, s_D^2$)	Tests F
d_i $e_{il} = e_1$ f_j $e_{jl} = e_2$ $(df)_{ij}$ $e_{ijl} = e_3$ b_l	} cf tableau 1-1	} cf tableau 1-1	} cf tableau 1-1	$s_D^2 \approx s_D^2 / n_V$ $s_{E1}^2 \approx s_{E1}^2 / n_V$	s_D^2 / s_{E1}^2 -
				$s_F^2 \approx s_F^2 / n_V$ $s_{E2}^2 \approx s_{E2}^2 / n_V$	s_F^2 / s_{E2}^2 -
				$s_{DF}^2 \approx s_{DF}^2 / n_V$ $s_{E3}^2 \approx s_{E3}^2 / n_V$	s_{DF}^2 / s_{E3}^2 -
				$s_B^2 \approx s_B^2 / n_V$	-

3.1 bis - COMPARAISONS ET REGROUPEMENTS POSSIBLES DES VARIANCES RESIDUELLES. CONSEQUENCES SUR LES TESTS F DES FACTEURS CONTROLES.

Variance à comparer	Tests à utiliser	Calculs suivant le test d'homogénéité des variances résiduelles, lorsqu'elles sont homogènes*					
		Résidu moyen	Degrés de liberté	Variance résiduelle moyenne (cf le tableau 1-1 bis pour la formule de s_{23}^2)	Tests F pour		
					s_D^2	s_F^2	s_{DF}^2
s_{E2}^2, s_{E3}^2	F	e_{23} (cf tableau 1-1 bis)	ν_{23} (cf tableau 1-1 bis)	$s_{23}^2 \approx s_{23}^2 / n_V$		+	+
s_{E1}^2, s_{E3}^2	F	$e_{13} = x_{ijl} - \bar{x}_{ij} - \bar{x}_{jl} + \bar{x}_j$	$\nu_{13} = n_F(n_D - 1)(n_B - 1)$	$s_{13}^2 = \sum_{ijl} (e_{ijl})^2 / \nu_{13}$	+		+

* cf les remarques figurant sous le tableau 1-1 bis.

3.2 - ANALYSE DE VARIANCE DES PARAMETRES RESULTANT DES AJUSTEMENTS OPERES SUR LE FACTEUR "VOLUME DES POTS", SANS PRISE EN CONSIDERATION DU FACTEUR "ORIENTATION DES POTS".

Modèle linéaire : $x_{ijl} = \bar{x} + f_i + e_{jl} + e_{ijl} + b_l$

Termes du modèle	Signification des termes	Estimation des termes	Degrés de liberté	Variances des effets (cf le tableau 1.1 pour les formules donnant s_F^2 , s_{E2}^2 et s_B^2)	Tests F
f_i	cf tableau 1-1	cf tableau 1-1	cf tableau 1.1	$s_F^2 \approx s_F^2 / n_V$	s_F^2 / s_{E2}^2
$e_{jl} = e_2$	- id. -	- id. -	- id. -	$s_{E2}^2 \approx s_{E2}^2 / n_V$	s_{E2}^2 / s_{E9}^2
$e_{ijl} = e_9$	Résiduelle "intraparcelle"	$e_{ijl} = x_{ijl} - \bar{x}_{jl}$	$\nu_{E9} = n_F \cdot n_B (n_D - 1)$	$s_{E9}^2 = \sum_{ijl} (e_{ijl})^2 / \nu_{E9}$	-
b_l	cf tableau 1-1	cf tableau 1-1		$s_B^2 \approx s_B^2 / n_V$	s_B^2 / s_{E9}^2

3.2 bis - COMPARAISON ET REGROUPEMENT POSSIBLES DES VARIANCES RESIDUELLES. CONSEQUENCES SUR LES TESTS F DES FACTEURS CONTROLES.

Variance à comparer	Tests à utiliser	Calculs suivant le test d'homogénéité des variances résiduelles, lorsqu'elles sont homogènes *				
		Résidu moyen	Degrés de liberté'	Variance résiduelle moyenne	Tests F pour	
					s_F^2	s_B^2
s_{E2}^2, s_{E9}^2	F	$e_{29} = x_{ijl} - \bar{x}_j - \bar{x}_l + \bar{x}$	$\nu_{29} = n_D \cdot n_F \cdot n_B - n_F - n_B + 1$	$s_{29}^2 = \sum_{ijl} (e_{29})^2 / \nu_{29}$	+	+

* cf les remarques figurant sous le tableau 1.1 bis.

4 - ANALYSE DE VARIANCE DES PARAMETRES RESULTANT DES AJUSTEMENTS OPERES SUR LE FACTEUR "VOLUME DE TERRE" DANS LE CAS OÙ IL N'Y A QU'UNE OBSERVATION PAR COUPLE DE POTS.

Modèle linéaire : $x_{jl} = \bar{x} + f_j + e_{jl} + b_l$

Termes du modèle	Signification des termes	Estimation des termes	Degrés de liberté	Variances des effets (cf le tableau 1.1 pour les formules donnant s_F^2 , s_{E2}^2 et s_B^2)	Tests F
f_j $e_{jl} = e_l$ b_l	$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\}$ cf tableau 1.1	$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\}$ cf tableau 1.1	$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\}$ cf tableau 1.1	$s_F^{m2} \approx s_F^2 / n_D \cdot n_V$ $s_{E2}^{m2} \approx s_{E2}^2 / n_D \cdot n_V$ $s_B^{m2} \approx s_B^2 / n_D \cdot n_V$	s_F^{m2} / s_{E2}^{m2} — —

A N N E X E 3.

ANALYSES DES DONNEES.

ANALYSE DES DONNEES.

L'analyse des données recueillies en serre est réalisée à l'aide d'un micro-ordinateur GOUPIL III équipé de 2 lecteurs de disquettes 8", d'une imprimante EPSON RX 100 et d'un disque virtuel de 254 Koctets. Les programmes informatiques sont écrits en SBASIC, le système d'exploitation étant le FLEX 09.

Le schéma ci-contre donne l'organisation générale des programmes de cet essai. Nous allons maintenant en décrire succinctement les différentes étapes :

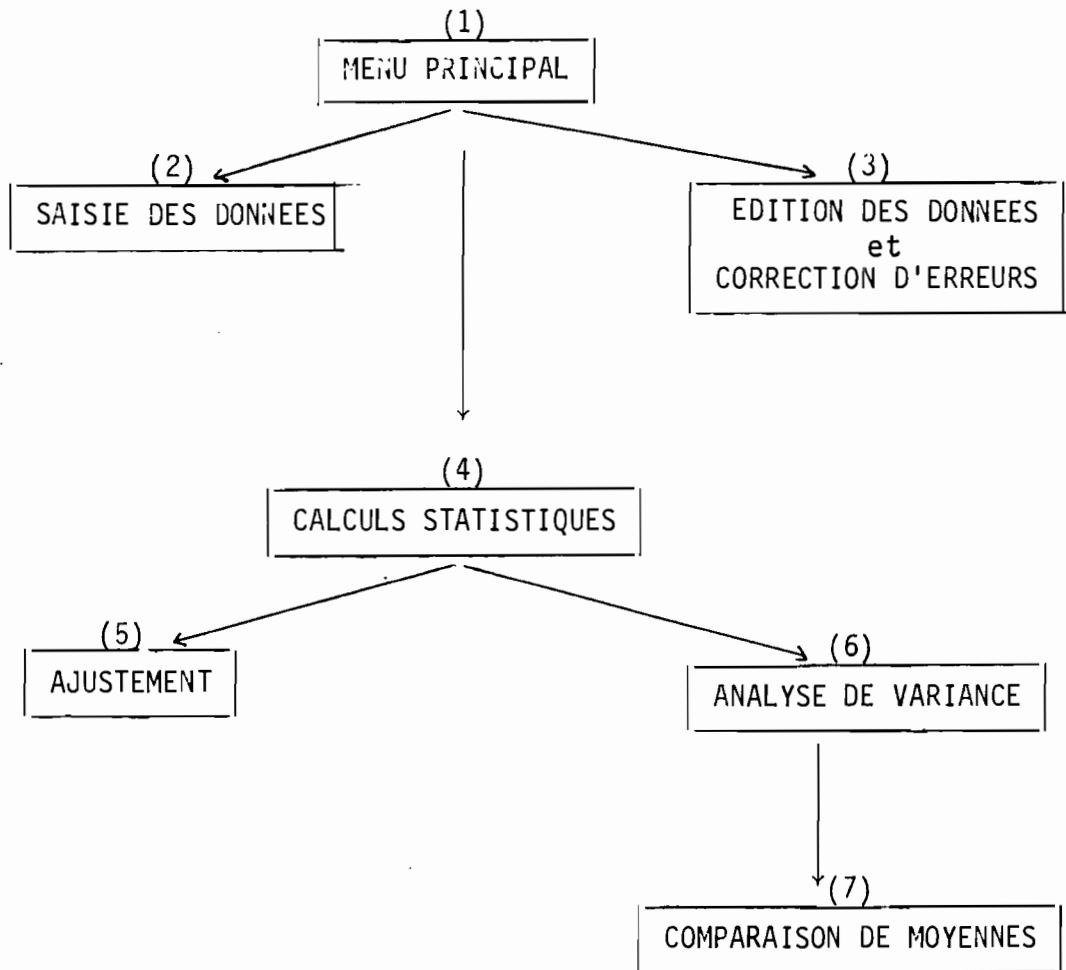
- (1) le menu principal permet d'accéder aux programmes de saisie et de modifications des données, ainsi qu'aux programmes de calculs statistiques ;
- (2) il existe quatre programmes de saisie (1 par modèle d'analyse de la variance, cf : Annexe 2) pour 150 observations (1 par pot), 75 observations (1 par couple de pots), 30 observations (1 par série de 5 pots), 15 observations (1 par couple de 10 pots Est-Ouest ayant reçu la même fumure azotée). Chaque programme présente à l'utilisateur une grille de saisie qui reproduit le plan de la serre. La saisie est ainsi facilitée.
Ces programmes permettent aussi le calcul de nouvelles variables à partir de données brutes (par exemple, le rendement, rapport Ca/Mg etc...). Il suffit de rentrer la formule de calcul en indiquant les numéros des variables choisies,
- (3) on peut éditer sur écran ou sur imprimante : le numéro, le libellé, la date de mesure, l'unité de mesure, la définition, la formule de calcul (si elle existe) de chaque variable. On peut de plus, éditer sur écran, le fichier données où apparaissent les 150 valeurs par variable.
Le programme de correction d'erreur permet de tout reparamétrer, et ceci pour chaque variable : changement de numéro, d'unité, de définition etc...
Un module permet de corriger toute observation fautive en présentant à l'observateur la grille de saisie (plan de la serre) avec les observations déjà rentrées. Il suffit de choisir le numéro de la variable où l'on veut faire une correction et de corriger la case de la grille qui est fautive ;

- (4) il s'agit d'un menu "secondaire" qui permet le choix entre les différents programmes statistiques décrits ci-après,
- (5) ce module calcule les valeurs de p_M , q_M et k (cf. Annexe 1),
- (6) il existe 4 programmes différents d'analyse de variance (cf. Annexe 2). Chaque programme fait appel à des procédures communes (calculs de moyennes, de variances, homogénéité des variances résiduelles). Les sorties imprimantes regroupent :
 - les observations, les moyennes de chaque facteur avec leur écart relatif, les variances des facteurs contrôlés, résiduelles et moyennes avec leurs degrés de liberté et leurs coefficients de variation (et les probabilités des tests F et de Bartlett pour les variances moyennes), enfin, les tests F des facteurs contrôlés;
- (7) d'après les résultats de l'analyse de variance, on peut choisir (ou ne pas choisir) de faire la comparaison des moyennes des facteurs ayant marqué. L'utilisateur indique les moyennes qu'il veut comparer et la variance résiduelle servant de base de comparaison dans le test. Les sorties imprimantes sont spécifiques à chaque modèle d'analyse de variance, mais la procédure de calcul est la même (test de Newman et Keuls). Elle constitue donc un sous-programme.

PROGRAMMES STATISTIQUES.

-

SCHEMA D'ORGANISATION.



ANNEXE 4.

PARAMETRES DEVANT ETRE OBSERVES.

PARAMETRES DE BASE ET DERIVES DE L'ETUDE COMPARATIVE EN SERRE SUR
L'UTILISATION DE L'AZOTE DE 3 FUMURES AZOTEES DIFFERENTES PAR
PANICUM MAX., CULTIVE SUR LE VERTISOL MODAL DE POUEMBOUT. (1).

paramètres (sigles)	unités	définitions	observations-formules
Hn ₁ (1)	cm	hauteur au n ₁ <u>e</u> jour) sur chaque pot
Hn ₂ (1)	cm	" " n ₂ <u>e</u> "	
Hn ₃ (1)	cm	" " n ₃ <u>e</u> "	
Hn ₄ (1)	cm	" " n ₄ <u>e</u> "	
Hn ₅ (1)	cm	" " n ₅ <u>e</u> "	
Hn ₆ (1)	cm	" " n ₆ <u>e</u> "	
Hn ₇ (1)	cm	" " n ₇ <u>e</u> "	
Hn ₈ (1)	cm	" " n ₈ <u>e</u> "	
Vn ₁ - n ₂ (1)	cm/j	vitesse de croissance entre le n ₁ <u>e</u> et	(Hn ₂ - Hn ₁) / 4
Vn ₂ - n ₃ (1)	"	le n ₂ <u>e</u> jour n ₂ <u>e</u> et n ₃ <u>e</u>	(Hn ₃ - Hn ₂) / 3
Vn ₃ - n ₄ (1)	"	" " n ₃ <u>e</u> et n ₄ <u>e</u>	(Hn ₄ - Hn ₃) / 4
Vn ₄ - n ₅ (1)	"	" " n ₄ <u>e</u> et n ₅ <u>e</u>	(Hn ₅ - Hn ₄) / 3
Vn ₅ - n ₆ (1)	"	" " n ₅ <u>e</u> et n ₆ <u>e</u>	(Hn ₆ - Hn ₅) / 4
Vn ₆ - n ₇ (1)	"	" " n ₆ <u>e</u> et n ₇ <u>e</u>	(Hn ₇ - Hn ₆) / 3
Vn ₇ - n ₈ (1)	"	" " n ₇ <u>e</u> et n ₈ <u>e</u>	(Hn ₈ - Hn ₇) / 4
PStf(1)	g	poids de mat. sèche à la lère coupe (35 ^e jour)	sur chaque pot
Ntf (1)	%	teneur en azote dans les tiges et feuilles(lère coupe)	
N"tf (1)	"	" 15N	
Ptf (1)	"	phosphore "	
Ktf (1)	"	potassium "	
Catf (1)	"	calcium "	
Mgtf (1)	"	magnésium "	
Natf (1)	"	sodium "	
Sitf (1)	"	silice "	
Centf (1)	"	cendres "	
QNtf (1)	mg	exportation en azote (lère coupe)	Ntf(1) x PStf (1)
QN"tf (1)	"	" 15N "	N"tf(1) "
QPtf (1)	"	" phosphore "	Ptf(1) "
QKtf (1)	"	" potassium "	Ktf(1) "
QCatf (1)	"	" calcium "	Catf(1) "
QMgtf (1)	"	" magnésium "	Mgtf(1) "
QNatf (1)	"	" sodium "	Natf(1) "

PARAMETRES DE BASE ET DERIVES DE L'ETUDE COMPARATIVE EN SERRE SUR
L'UTILISATION DE L'AZOTE DE 3 FUMURES AZOTEES DIFFERENTES PAR
PANICUM MAX., CULTIVE SUR LE VERTISOL MODAL DE POUEMBOUT. (2).

paramètres (sigles)	unités	définitions	observations-formules
Q Si tf(1)	mg	exportation en silice (1ère coupe)	Si tf(1) x PS tf(1)
Q Cen tf(1)	"	" cendres "	Cen tf(1) "
CUN tf(1)	%	coefficient d'utilisation de l'azote (1ère coupe)	
CUN"tf(1)	"	" " 15 N	
CUP tf(1)	"	" " phosphore	
CUK tf(1)	"	" " potassium	
Hn'1(2)	cm	hauteur au n _{1e} jour après la 1ère coupe	
Hn'2(2)	"	" n _{2e} " " " "	
Hn'3(2)	"	" n _{3e} " " " "	
Hn'4(2)	"	" n _{4e} " " " "	
Hn'5(2)	"	" n _{5e} " " " "	
Vn'1-n'2(2)	cm/j	vitesse de croissance entre le n _{1e} et le n _{2e} jour.	(Hn'2-Hn'1)/7
Vn'2-n'3(2)	"	" " n _{2e} et n _{3e}	(Hn'3-Hn'2)/7
Vn'3-n'4(2)	"	" " n _{3e} et n _{4e}	(Hn'4-Hn'3)/7
Vn'4-n'5(2)	"	" " n _{4e} et n _{5e}	(Hn'5-Hn'4)/7
PS tf (2)	g	pois de matière sèche à la récolte (30è jour) : 2è coupe.	
Hn"1(3)	cm	hauteur au n _{1e} jour après la 2è coupe	
Hn"2(3)	"	" n _{2e} " " " "	
Hn"3(3)	"	" n _{3e} " " " "	
Vn"1-n"2(3)	cm/j	vitesse de croissance entre le n _{1e} et le n _{2e} jour	
Vn"2-n"3(3)	"	" " n _{2e} et n _{3e}	
PS tf (3)	g	pois de matière sèche à la récolte (30è jour) : 3ème coupe.	
Ntf (2-3)	%	teneur en azote dans les tiges +	
N"tf (2-3)	"	feuilles (2è + 3è coupes) - 15N	
Ptf (2-3)	"	" phosphore " "	
Ktf (2-3)	"	" potassium " "	
Ca _{tf} (2-3)	"	" calcium " "	
Mg _{tf} (2-3)	"	" magnésium " "	
Na _{tf} (2-3)	"	" sodium " "	
Si _{tf} (2-3)	"	" silice " "	
Cen _{tf} (2-3)	"	" cendres " "	
QN _{tf} (2-3)	mg	exportation en azote(2è + 3è coupes)	N _{tf} (2-3)x(PStf2+PStf3)
QN"tf(2-3)	"	" 15N " "	N"tf(2-3) "
Q P _{tf} (2-3)	"	" phosphore " "	P _{tf} (2-3) "

PARAMETRES DE BASE ET DERIVES DE L'ETUDE COMPARATIVE EN SERRE SUR
L'UTILISATION DE L'AZOTE DE 3 FUMURES AZOTEES DIFFERENTES PAR
PANICUM MAX., CULTIVE SUR LE VERTISOL MODAL DE POUEMBOUT. (3).

paramètres (sigles)	unités	définitions	observations-formules
QK tf (2-3)	mg	exportation en potassium(2 ^e + 3 ^e coupe)	$K\ tf\ (2-3) \times (PStf2 + PStf3)$
Q Ca tf(2-3)	"	" calcium "	Ca tf(2-3)x "
Q Mg tf(2-3)	"	" magnésium "	Mg tf(2-3)x "
Q Na tf(2-3)	"	" sodium "	Na tf(2-3)x "
Q Si tf(2-3)	"	" silice "	Si tf(2-3)x "
Q Cen tf(2-3)	"	" cendres "	Cen tf(2-3)x "
CUN tf (2-3)	%	coefficient d'utilisation de l'azote	
CUN" tf(2-3)	"	(2 ^e + 3 ^e coupes) " 15N	
CUP tf(2-3)	"	" " phosphore	
CUK tf(2-3)	"	" " potassium	
PSrc (3)	g	poids de mat. sèche des racines récupérées après la 3 ^e coupe.	
Nrc (3)	%	teneur en azote dans les racines après la 3 ^e coupe	
N"rc (3)	"	" 15N "	
P rc (3)	"	" phosphore "	
K rc (3)	"	" potassium "	
Ca rc (3)	"	" calcium "	
Mg rc (3)	"	" magnésium "	
Na rc (3)	"	" sodium "	
Si rc (3)	"	" silice "	
Cen rc (3)	"	" cendres "	
QNrc (3)	mg	immobilisation de l'azote par les racines	$N\ rc(3) \times PSrc\ (3)$
QN"rc(3)	"	" 15N "	N"rc(3) "
QP rc(3)	"	" phosphore "	P rc (3) "
QK rc(3)	"	" potassium "	K rc (3) "
Q Ca rc (3)	"	" calcium "	Ca rc (3) "
Q Mg rc (3)	"	" magnésium "	Mg rc (3) "
Q Na rc (3)	"	" sodium "	Na rc (3) "
Q Si rc (3)	"	" silice "	Si rc (3) "
Q Cen rc (3)	"	" cendres "	Cen rc (3) "
QTN (1-2-3)	mg	exportations + immobilisation totales de l'azote par la plante	$QNTf(1+2-3) + QN\ rc\ (3)$
QTN"(1-2-3)	"	" 15N "	15N
QTP (1-2-3)	"	" phosphore "	idem avec P
QTK (1-2-3)	"	" potassium "	" " K
QTCa(1-2-3)	"	" calcium "	" " Ca

PARAMETRES DE BASE ET DERIVES DE L'ETUDE COMPARATIVE EN SERRE SUR
L'UTILISATION DE L'AZOTE DE 3 FUMURES AZOTEES DIFFERENTES PAR
PANICUM MAX., CULTIVE SUR LE VERTISOL MODAL DE POUEMBOUT. (4)

paramètres (sigles)	unités	définitions	observations-formules
QTMg(1-2-3)	mg	exportations + immobilisation totales du magnésium par la plante	idem avec Mg
QNa(1-2-3)	"	" sodium "	" " Na
QTSi(1-2-3)	"	" silice "	" " Si
QTCen(1-2-3)	"	quantité totale de cendres exportée et immobilisée par la plante	QCentf (1+2-3) + QCent rc (3)
vts 1	-	état du sol avant culture	
vts 2	-	" " après "	
pH vts 1	-	pH du sol avant culture	
N vts 1	°/∞∞	teneur du sol en azote total	
PT vts 1	"	" " phosphore total	
Pas. vts 1	ppm	" " " assimilable	
CET vts 1	még. %	capacité d'échange du sol	
CaE vts 1	"	teneur en calcium échangeable	
MgE vts 1	"	" magnésium "	
KE vts 1	"	" potassium "	
NaE vts 1	"	" sodium "	
S vts 1	μS/cm	conductivité de l'extrait saturé	
pH vts 2		pH du sol après 3 mois de culture	
N vts 2	°/∞∞	teneur du sol en azote total	
N" vts 2	"	" " 15N	
PT vts 2	"	" " phosphore total	
Pas. vts 2	ppm	" " assimilable	
CET vts 2	még. %	capacité totale d'échange du sol	
CaE vts 2	"	teneur en calcium échangeable	
MgE vts 2	"	" magnésium "	
KE vts 2	"	" potassium "	
NaE vts 2	"	" sodium "	
S vts 2	μS/cm	conductivité de l'extrait saturé	
pcl	-	percolats récupérés à la fin de l'es- sai	
Npsl	mg/l	teneur en azote total du percolat	
N"pcl	"	" 15N "	
P pcl	"	" phosphates solubles "	
Ca pcl	"	" calcium "	
Mg pcl	"	" magnésium "	

PARAMETRES DE BASE ET DERIVES DE L'ETUDE COMPARATIVE EN SERRE SUR
 L'UTILISATION DE L'AZOTE DE 3 FUMURES AZOTEES DIFFERENTES PAR
 PANICUM MAX., CULTIVE SUR LE VERTISOL MODAL DE POUÉMBOUT. (5)

paramètres (sigles)	unités	définitions	observations-formules
K pcl	mg/l	teneur en potassium total du percolat	
Na pcl	"	" sodium " "	
SO ₄ pcl	"	" sulfates " "	
pH pcl	un ^{té} pH	pH du percolat	
S pcl	μS/cm	conductivité du percolat	

- Vue générale de l'expérimentation -



- Vue extérieure de la serre :

la différence de développement du *Panicum* suivant les traitements apparaît nettement sur la 1ère rangée de pots de culture.



- Vue intérieure de la serre :

(cette photo a été prise après la 1ère coupe)-le dispositif comporte 3 blocs de 50 pots chacun.

- Vue détaillée d'une série de pots -



- à gauche de la photo :

. les 5 premiers pots (en double) ont reçu P et K
mais pas d'azote ;

. les volumes des pots vont en croissant :

volume 1, au 1er plan = 2,0 kg sol

" 2 " 2ème " = 2,9 kg "

" 3 " 3ème " = 4,6 kg "

" 4 " 4ème " = 6,8 kg "

" 5 " 5ème " = 9,0 kg "

- à droite de la photo, au 1er plan :

pot de volume 5 ayant reçu P, K, et N (sous forme
de nitrate de Ca marqué à l'azote 15).

Avant la coupe, le *Panicum* de ces pots atteignait
1,50m de hauteur.

- Vue détaillée des pots de culture -



- le sol se trouve dans le cylindre central ;
- la cuvette du haut sert à l'alimentation de la plante (les engrais y ont été apportés sous forme soluble), c'est la cuvette d'irrigation ;
- la cuvette intermédiaire est la cuvette de récupération des eaux percolées, après passage à travers le cylindre de sol, c'est la cuvette de drainage ;
- la cuvette du bas est destinée à recevoir ces eaux percolées qui sont recyclées, et remises dans la cuvette du haut. On opère donc en circuit fermé.

- l'alimentation en eau s'effectue par l'intermédiaire de bandes de tissu de verre, dont une extrémité plonge dans l'eau de la cuvette, et l'autre extrémité est en contact avec une partie de la surface du sol ;
- l'anneau central, où s'effectue le semis, est légèrement enfoncé dans le sol, il permet de canaliser les racines.

